

[1]Integrated sensing and communications: Toward dual-functional wireless networks for 6G and beyond

简要总结：

本篇综述围绕感知通信一体化（ISAC）展开，对该方向的**应用现状、理论研究、最新技术、潜在发展**进行了全面综述。重点探讨了感知和通信之间的相互作用、以及二者一体化可带来的性能增益；并且从信息角度分析了感知与通信之间的一些性能权衡。

本文中的感知通信一体化主要围绕雷达通信技术。

1. ISAC的应用和工业活动

提出了七个可能的ISAC应用场景，与其中的具体使用案例。

①**传感即服务**（蜂窝网络的作用将转移到广泛部署的大规模传感器网络，这将引发通信行业的各种新应用）：定位跟踪、区域成像、无人机监测管理。

②**智能家居**：人类活动识别、空间感知计算。

③**车联万物**：即时定位与地图构建。

④**智能制造与工业物联网**

⑤**遥感与地球科学**

⑥**环境监测**

⑦**人机交互**

工业进展与标准化：多个企业表示，传感将在6G和Wi-Fi 7愿景中发挥重要作用。华为将协调传感和通信确定为5.5G的三种新场景之一。IEEE通信协会（ComSoc）成立了新兴技术倡议（ETI）²，IEEE信号处理协会（SPS）成立了技术工作组（TWG）³，这两个组织均关注ISAC的发展与标准化。

2.ISAC理论（S&C之间的性能权衡）

传感性能指标：探测、估计、识别；

通信性能指标：效率、可靠性。

二者性能的折中权衡，要考虑到多项指标表现、空间自由度权衡、跨层权衡等。

文中给出了ISAC的正式定义和基本原理，定义了ISAC中的两种增益（集成增益和协调增益）。

3.ISAC的信号处理（波形设计与接收信号处理）

- 波形设计
 - 一体化系统要求能够实现双功能的波形，根据积分水平的不同，ISAC波形可以从最松散耦合的方法（时间/频率/空间/代码划分）到最紧密耦合的方式（完全统一的波形）。
 - 针对基于传感信号、基于通信信号的不同共享波形设计具有不同的侧重点，有待继续提升性能的权衡补充。
- 接收信号处理
 - ISAC接收机应该能够解码来自通信信号的有用信息，同时从回波中检测/估计目标。如果两个信号在时域和频域上完全/部分重叠，就会发生相互干扰。
 - 现有基于雷达目标回波稀疏性和通信解码误差的实用ISAC接收机；但面临着改良需求：提高性能的同时降低接收器复杂性、杂波抑制等。

4.感知移动网络（PMN）的设计——S&C之间的互助

传感功能预计将集成到未来的无线网络中，以形成感知网络；PMN的通用框架能够执行由5G和Beyond波形和网络架构支持的大规模网络传感。通信可以通过两个级别的设计方法来帮助传感：

- 1) 帧级ISAC：默认通信帧结构和协议支持的传感，如Wi-Fi 7和5G NR。
- 2) 网络级ISAC：由最先进的无线网络架构支持的分布式/网络化传感，如云RAN（C-RAN）。

对于感知移动网络的设计，面临的挑战有：有限的高精度传感带宽、单基地传感的自干扰、未知数据的有效载荷、

对于网络级传感，有信息级融合、信号级融合两种方式。但也面临着节点间干扰、网络同步等需要解决的问题。

5.ISAC和其他新兴通信技术之间的潜在合作

在感知辅助通信方面：可利用传感，特别是无设备传感来提高毫米波通信性能；包括传感辅助波束训练、传感辅助波束跟踪与预测、传感辅助资源分配等。

在移动网络方面：可用于分配管理无线资源，如带宽、功率等。

还有许多其它可能结合的技术，如边缘智能、可重构智能表面（RIS）、UAV、近地轨道卫星网络、太赫兹通信传感等。

6.摘录笔记

The integration of sensing functionality is emerging as a key feature of the 6G RadioAccess Network (RAN), allowing for the exploitation of dense cell infrastructures to construct a perceptive network.

Indeed, radio sensing and communication (S&C) systems are both evolving towards higher frequency bands, larger antenna arrays, and miniaturization, thereby becoming increasingly similar in terms of hardware architectures, channel characteristics, and signal processing.

The information processing for S&C shows a striking distinction. Sensing collects and extracts information from noisy observations, while communication focuses on transferring information via specifically tailored signals and then recovering it from a noisy environment. The ultimate goal of ISAC is to unify these two operations and to pursue direct tradeoffs between them as well as mutual performance gains. On the one hand, ISAC is expected to considerably improve spectral and energy efficiencies, while reducing both hardware and signaling costs, since it attempts to merge sensing and communication into a single system, which previously competed over various types of resources. On the other hand, ISAC also pursues a deeper integration paradigm where the two functionalities are no longer viewed as separate end-goals but are co-designed for mutual benefits, i.e., via communication-assisted sensing and sensing-assisted communication.

We firmly believe that ISAC will not only serve as the foundation of the new air interface for the 6G network, but will also act as the bond to bridge the physical and cyber worlds, where everything is sensed, everything is connected, and everything is intelligent.